

# 농어촌주택 표준설계의 유용조도 분석에 관한 연구

- 기상데이터 기반 동적 자연채광 시뮬레이션을 기반으로 -

## The study on the Analysis of Useful Daylight Illuminance in rural standard house model

- By Dynamic Daylight Simulation Using Weather Data -

윤영일\*                      송정석\*\*                      이효원\*\*\*  
Yun, Young Il              Song, Jeong Suk              Lee, Hyo Won

### Abstract

Daylight is highly beneficial for improving the indoor environmental quality and reducing building energy consumption, daylighting applications are scarcely considered, especially during the Rural standard house models design process, because of lack of previous studies on elderly- light environment and complex simulation process. Therefore, daylighting process were performed using ECOTEECT, which has various advantage such as easy user interface and simple simulation processes. Moreover, dynamic daylight simulation were performed using whether data. Static simulation are performed to compute static metrics such as daylight factor, whereas dynamic simulation are performed for dynamic metrics such as daylight autonomy and useful daylight illuminance using annual weather data On the basis of daylight autonomy and useful daylight illuminance analysis result, variations in annual daylight performances. A parametric and regression analysis of the window-to-wall ratio and visible transmittance showed that daylight factor, daylight autonomy increased with window-to-wall ratio and visible transmittance. It can be concluded that this new daylight criteria. useful daylight illuminance, will enable architect to obtain better fenestration design.

키워드 : 농어촌주택 표준설계, 주광률, 기상데이터, Ecotect 2011, Daylight Autonomy, Useful Daylight Illuminace  
Keywords : Rural standard house models, Daylight Factor, Weather data, ECOTEECT 2011, DA, UDI

## 1. 서론

현재 친환경 건축물의 수요는 점차 증가하고 있으며 친환경 건축물 인증제도와 같은 규제 또한 강화되고 있다. 에너지 절약의 관점에서 인간의 건강과 감성을 고려한 디자인 기법 중 가장 기본적인 자연채광은 그 중요성이 커지고 있다.

패시브 개념의 자연채광은 지금까지 단순하게 커튼월을 이용해 건물 외피 전체를 유리창으로 구성한 것에 머물러 있으며, 최소 채광기준은 만족시키지만 이에 따른 건축 환경 및 에너지 소비를 고려치 못한 것으로 볼 수 있다.

실내의 채광문제는 환경·심리적인 중요한 요소로서 적절한 자연채광 디자인을 통해 가능하며 건물의 에너지 및 거주자의 편안함과 직결된다. 올바른 채광은 건물에

너지 절감은 물론 채실자의 실내 환경 질을 개선하기 위해서는 적절한 외피 디자인이 함께 고려되어야 한다. 하지만 이러한 분석들은 연간평가가 아닌 연중 일정기간에 국한된 연구로서 머물러 있는 실정이다. 이렇듯 자연채광의 평가기준은 지난 수십 년간 주광률(Daylight Factor) 평가에 한정되어 있으며, 친환경 인증기준 또한 일조권에 한정되어 있다.

이와 더불어 국토해양부에서 2009년도에 출간한 농어촌주택 표준설계도서(제2009-994호)는 농어촌주택설계를 위한 시간적, 경제적 부담을 덜어주기 위해 설계 도서를 미리 작성하여 두고 건축하고자 하는 사용자의 취향에 따라 이를 선택적으로 이용할 수 있도록 건설교통부장관이 공고한 설계도서이다. 이는 설계비의 절감 및 건축허가절차 간소화와 자재 규격화 및 부품화를 유도하여 시공의 표준화를 기함으로써 건축물의 질적 향상을 도모하는 것이지만 현재의 경향에 부응하는 환경 친화적 건축물로는 초기 구상 단계부터 계획되어 있지 않은 듯하며 그 흔적을 찾아보기 힘들다.

본 연구는 농어촌주택 표준설계도서의 환경 친화적 변화모색을 위해 기존 도서의 주택모형을 유지하며 친환경

\* 전남대학교 건축공학과 박사수료(smlxlyun@gmail.com)  
\*\* 전남대학교 건축공학과 박사수료(archblue79@nate.com)  
\*\*\* 교신저자, 전남대학교 건축학부 교수(leehw@jnu.ac.kr)  
'이 논문은 2010년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단)'

요소의 가장 기본적인 자연채광에 관한 외피 디자인(창면적비WWR와 투과율)을 통해 건물 내의 에너지 절감은 물론 채실자의 실내 환경 질을 개선하기 위함을 그 목적으로 한다.

이에 본 연구에서는 ECOTECT 2011을 이용하여 친환경 건축의 기본인 자연채광에 대한 요소 중 정적 시뮬레이션으로 대표되는 주광률, 동적 시뮬레이션으로 주광률의 연중 범위를 평가하는 Daylight Autonomy와 기준조도 중심 평가인 유용조도 (Useful Daylight Illuminance)를 기반으로 농어촌주택 표준설계의 연간 유용조도를 분석하여 창호 면적비를 통한 외피 구성 방법을 제시한다.

## 2. 자연채광의 효과와 문제점

### 2.1 자연채광의 필요성

자연채광의 효과에 대한 연구 결과물들은 건물 에너지 효율 증가와 채실자의 쾌적감 유지가 주요 장점으로 요약될 수 있으며, 적절한 자연채광은 우리의 일상생활의 활동에 긍정적 효과가 있다는 연구 결과가 보고되고 있다.

특히 주거 환경에서 자연채광은 환경의 정보를 얻기 위한 원천으로서, 피부와 감각 기관을 통한 광 생물학적 측면에서 중요하다. 특히 농어촌 주택은 사회의 변화에 따라 노년기의 삶에 맞추어 노년기의 생리적인 변화에 초점을 두어야 한다. 노년기의 생리적 변화 중 조명에 영향을 받는 시각은 지나친 조도의 차이, 눈부심과 반사는 문제의 요인이 되며 자연채광과 같은 풀 스펙트럼의 광원이 가장 이상적이므로 자연채광의 양과 질에 관한 주의가 필요하다.<sup>1)</sup>

이렇듯 생활환경에는 과학적이고 다각적인 빛 환경이 요구되며 이를 해결하기 위한 가장 기초적인 방법은 실내에 유입되는 빛을 조절하기 위한 창과 개구부를 계획하는 것이 중요하다. 문제는 어느 정도의 자연광을 건물 안으로 유입시켜 실내조명과 에너지 절감의 품질을 높이는 데 기여 하는가이다. 그 외에 색 표현을 향상시키며, 가시성을 높이고 일일 생체리듬을 유지하는 데 도움을 얻고 심리적으로 고양시키는 것도 중요하다.<sup>2)</sup>

다음은 자연채광을 통한 건물 에너지 절감 역시 다양한 연구를 통해 입증되었다. ASHRAE 핸드북에 따르면 건물에서 에너지 소비의 30~40% 가량을 자연 채광을 통해서 절감이 가능하다고 보고되었으며,<sup>3)</sup> 창면적비 별로 에너지 절감을 산정결과 창면적비가 65%~45% 수준까지는 5% 변경 시 평균 1.8% 까지 조명에너지 절감을 보였으나 창 면적비가 45% 이하로 낮아지면서 5% 변경 시 저감율이 1.5%로 낮아지는 결과를 보이며 창 면적에 따

라 실내 에너지 절감 효과<sup>4)</sup>가 있다고 발표하였다. 그 외에 다양한 자연채광과 이를 이용한 건물에너지 절감에 대한 연구에서 기후 또는 건물의 향 혹은 형태에 따라 차이가 나지만 약 15%에서 최대 45%까지의 에너지 절감이 가능한 것으로 연구되었다.

### 2.2 자연채광의 문제점

자연채광의 문제점으로 첫 번째는, 실내의 기준조도 미달 시 작업효율 저하, 시력저하 및 심미적 불안 우울, 불편에 따른 신경과민 등의 장애가 유발되며, 기준조도를 초과할 경우 휘도 차 (10:1 이상)에 따른 눈부심 유발, 기구 및 광원과 소비전력 상승에 따른 유지비 상승 등의 문제가 발생하여 적절한 조도유지가 중요하다. 농어촌 주택의 주사용자인 고령자의 경우 동일한 작업을 수행하는데에 일반 성인의 2~3배에 해당하는 고조도가 필요하다.<sup>5)</sup>

표 1. 노인 주거시설의 KS 기준조도와 IES 기준조도

공간	세부분류	KS 기준조도[lux]	IES 기준조도[lux]
거실	단란, 오락	150-200-300	NONE
	독서, 전화	300-400-600	200-300-500
	전반	30-40-60	50-75-100
안방	전반	60-100-150	50-75-100
	화장, 독서	300-400-600	200-300-500
침실	전반	60-100-150	50-75-100
	화장, 독서	300-400-600	500-750-1000
주방	전반	60-100-150	NONE
	싱크대	150-200-300	200-300-500
	식탁, 조리대	300-400-600	500-750-1000
공용욕실	전반	60-100-150	NONE
현관	전반	60-100-150	NONE
	신발장	150-200-300	NONE
드레스 룸	화장 (파우더룸)	300-400-600	200-300-500

실내공간별 평균조도에 대한 원슬기의 연구에 따르면 시설의 조명현황은 IES와 KS의 기준으로 4점법과 5점법을 이용한 측정범으로 거실의 측정기준 40±5cm 높이에서 측정된 결과 IES 기준 평균조도는 347~417 lux로 측정되었으며, KS 기준의 평균조도는 271~378 lux로 측정되었다. 도서나 전화 등의 작업을 위한 작업면은 조도에 미달되며 다양한 활동이 일어나는 공간임에도 불구하고 조명의 연출과 변화가 불가능하게 평가되었으며 개선이 필요하다 하고 할 수 있다.

둘째로 평가도구의 부족을 들 수 있다. 최근 건축 분야는 컴퓨터를 이용한 전부분에 걸친 시뮬레이션과 통제가 가능해 졌으며 다양한 건물 친환경 요소들의 시뮬레이션을 통한 적용이 가능하다. 그러나 습득하기에 어려우며 전문적인 지식과 많은 양의 데이터 입력이 요구된다. 이

1) Gappel, Millicent, "Psychoneuro Immunology", Innovation in Healthcare Design, Van Nostrand Reinhold, 1995, pp. 115-120  
 2) 천진희, 노인의 삶의 질 향상을 위한 주거환경 디자인, 집문당, p. 123~129, 2008  
 3) 고동환, 기상데이터 기반 동적 자연채광 시뮬레이션을 이용한 유용조도 분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 제26권 6호, p322, 2010

4) 박성득, 공동주택의 주동형식 및 창면적비에 따른 건물에너지 효율 등급에 관한 연구, 고려대석사학위논문, p. 73, 2010  
 5) 원슬기, 고령자를 위한 주거 시설 조명환경 계획에 관한 연구, 조명·전기설비학회논문지, Vol.21 No.6, 2007

로 인해 디자인 평가 및 분석에 많은 시간이 필요하게 되며 자연채광을 고려한 건축가의 이용에 문제가 된다. ECOTECT는 기존의 친환경 시뮬레이션의 문제점에 대한 새로운 대안을 제시하고 있으며, 특히 각 지역의 기상 데이터를 기반으로 연간 시뮬레이션이 가능해 사용자 및 그 수요 또한 증가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 ECOTECT를 통해 농어촌주택 표준설계의 자연채광 시뮬레이션을 수행했으며 그 특성과 과정은 다음과 같다.

### 2.3 ECOTECT Analysis 2011

친환경 디자인 및 건축 환경 분석 프로그램이며, 초기 디자인 과정부터 최종평가까지 다양한 분야의 건축 환경적 요소를 입체적으로 평가할 수 있다. ECOTECT는 태양 및 일사량, 기상데이터, 일조 및 음영, 태양궤적도, 실내조도, 열 및 음 환경, 기류 분석과 같이 다양한 ECOTECT의 주요 기능 중에서 가장 유용한 부분으로는 자연채광, 즉 실내조도 분석이다. 친환경 프로그램의 평가 연구에 따르면, 각종 친환경 분석 프로그램을 다양한 항목을 기준으로 비교 연구한 결과, ECOTECT이 태양, 자연채광, 열환경, 음환경의 4개 분야에서 최고 점수를 받았으며 효율적인 친환경건물 평가 시뮬레이션 중 하나로 평가 되었다.<sup>6)</sup> 특히, 태양과 자연채광 분야에서는 타 프로그램에 비해 2~3배의 점수 차이로 월등한 평가결과를 보여주고 있는 것으로 나타났다.

기상 데이터를 활용한 동적 시뮬레이션의 개념을 통한 ECOTECT를 이용하여 실험 대상의 연간 실내 조도 분석을 수행하였다.

## 3. 자연채광시뮬레이션

### 3.1 정적 시뮬레이션 : Daylight Factor

자연채광 설계를 규정하기 위한 실내조도 평가 시뮬레이션 방법은 대표적인 두 가지 방식 중 정적(Static) 시뮬레이션은 일정 시간 즉, 한 가지 조건에서의 일시적인 시뮬레이션인 것이다. 주광률이 대표적인 정적 시뮬레이션을 통한 평가 기준이다. 반대로는 동적(Dynamic) 시뮬레이션의 경우 시간적 변화를 고려한 시뮬레이션으로 연중 기상 데이터를 기반으로 하여 연간 조도 분포를 평가한다. 정적 시뮬레이션의 주광률은 담천공에서 작업 면 높이의 일정 포인트에서 외부 장애물이 존재하지 않다는 가정 하에서 외부 조도와 실내 조도의 비율을 뜻하지만 이는 적절한 자연채광 디자인이 아니라 최소한의 채광 기준을 평가하는 것으로 볼 수 있으며 이는 한가지의 조건하에서 이루어지는 평가 이므로 정확하지 않다고 할 수 있다.

기존 연구를 통한 주광율의 한계는 향과 장소를 고려하지 않는다는 점이며 각각의 다른 위도를 기준으로 한 도시에서의 시뮬레이션 결과 주광률은 거의 동일하게 나

타난다. 반대로 천청공 기준으로 시뮬레이션 한 결과는 각 도시의 위도에 따른 태양의 고도의 변화로 다양한 일사 유입 및 실내조도의 비율 즉 주광률은 일정하게 된다.<sup>7)</sup> 이러한 문제점이 있는 정적 시뮬레이션 평가방식인 주광율의 문제점을 인식하고, 본 연구에서는 기존 주광율 산출방식인 정적 자연채광 시뮬레이션과 더불어 동적 자연채광 시뮬레이션을 중심으로 비교하여 평가해보고자 한다.

### 3.2 동적 시뮬레이션 : Daylight Autonomy, Useful Daylight Illuminance

DA(Daylight Autonomy)와 UDI(Useful Daylight Illuminance)는 새로운 자연채광 평가기준으로 알려져 있으며 이는 동적 시뮬레이션에 해당한다. Daylight Autonomy (DA)는 기상 데이터를 활용한 채광 평가기준으로 1989년에 스위스 자연채광 규범<sup>8)</sup>을 통해 소개되었으며 이는 연중 총 시간에서의 조도를 해당지역의 기후 특성 및 기상 데이터<sup>9)</sup>를 기반으로 주광률에 비해 더욱 효과적인 연간 실내 자연채광 평가가 가능하다. DA는 일과시간(08:00~18:00)을 기준으로 하는 연간 자연채광 기준조도를 초과하는 총 시간의 합을 퍼센티지(%)로 나타내는 것이다.<sup>10)</sup> 이는 연중 총 일과시간에서 기준조도 이상을 초과한 시간의 양을 말한다. 기준조도는 다수 문헌의 연구결과에 따라서 실내 권장조도를 500 lux로 권장함으로 500 lux를 기준으로 한다. 결국 최종적으로 DA는 연중 일과시간 내에서 자연채광 만으로 기준조도인 500 lux를 초과하는 총 시간의 합을 퍼센티지(%)로 나타내는 것이다.

UDI(Useful Daylight Illuminance)<sup>11)</sup>는 실내의 유용한 조도 범위를 설정하고, 이러한 범위 내에서의 실내 조도가 기상데이터를 기반으로 일과시간에서 얼마만큼 나타나는지를 분석하는 것이다. 100 lux 미만은 자연채광으로는 부족한 상태로 인공조명의 배치가 요구되며, 100 lux ~ 500 lux는 효율적이지만 인공조명의 추가적인 보충이 필요하며, 500 lux ~ 2000 lux는 불쾌감을 느끼지 않으며 자연채광만으로도 충분한 실내조도가 유지되고 2000 lux 이상은 시각적 그리고 열적 불쾌감을 주어 배제해야 할 항목으로 분류하였다.<sup>12)</sup>

6) S, Azhar, J. Brown, and R. Farooqui, BIM-based Sustainability Analysis: An Evaluation of Building Performance Analysis Software, Proceedings of the 45th ASC, 2009, pp. 276 - 292.

7) 고동환, 기상데이터 기반 동적 자연채광 시뮬레이션을 이용한 유용조도 분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 제26권 6호, p322, 2010  
 8) Association Suisse des Électriciens (ASE) / Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, <http://www.sev.ch/f>  
 9) Autodesk Ecotect 2001 Weather Tool의 기상 데이터  
 10) Reinhart, C. F., Walkenhorst, O., Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulation for a test office with external blind, Energy and Buildings, Volume 33, Issue 7, p. 683~697, 2001  
 11) Navil A. and Mardajevic, J., Useful daylight Illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings, Light Res. Technol. 37,1, p. 41~59, 2005  
 12) Navil A. and Mardajevic, J., Useful daylight Illuminance: A replacement for daylight factors, Energy and Buildings 38, p05~13, 2006

결국 UDI는 DA개념과 유사하지만 그 기준조도 및 범위에서 차이가 있으며, 눈부심이나 추가적인 열 획득을 고려하여 적정 범위에 대한 기준을 설정하였다. 즉 적정 자연채광을 통한 유용조도 범위의 중요성을 강조하여, 실내 조도가 너무 낮은 경우와 높은 경우의 재실자 및 건물 에너지를 고려하여 유용한 조도 기준의 범위로 100~2000 lux로 설정하였으며 표2와 같이 정리하였다.

표 2. UDI의 유용조도범위

유용조도	미달	적정	초과
lux	100 미만	100 - 2,000	2,000 이상

UDI는 적정 조도 범위 안에서의 평가기준으로 좀 더 효율적인 건물 개구부의 평가가 가능하다. 기존의 평가방식은 최대값에 대한 기준이 없어 시각적 열적 불쾌감 증가를 평가할 수 없었지만 이러한 범위는 앞서 언급하였듯이 거주자의 쾌적도를 측정하고 또한 실내 과열 등 건물의 에너지 측면 등의 고려가 가능하다.

#### 4. 자연채광 시뮬레이션 분석

##### 4.1 농어촌주택 표준설계 기준 및 시뮬레이션 모델 선정

본 연구에서의 기본 시뮬레이션 모델은 국토해양부에서 2009년도에 출간한 농어촌주택 표준설계도서(제2009-994호)의 기본 모델인 자두방형 [농림-09-26-가]을 선택하였다.

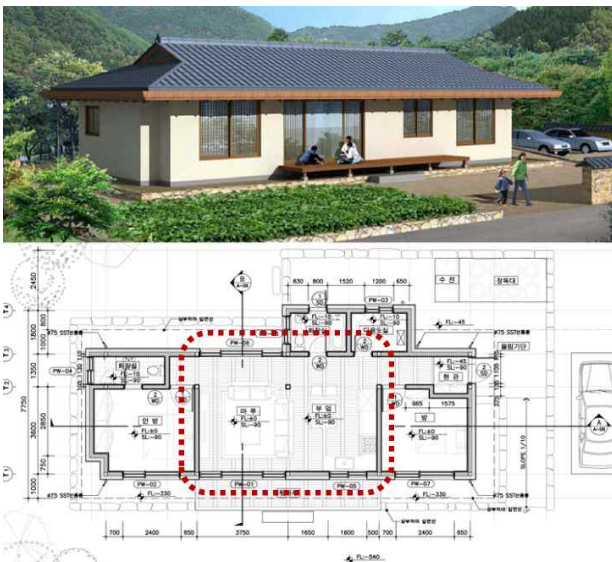


그림 1. 농어촌주택 표준설계도서, 농림-09-26-가 조감도 및 평면도

선택된 모델은 농어촌 표준설계도서의 최소기준 모델로 판단되며 3~4인이 생활하는 거실과 주방을 주요 시뮬레이션 대상으로 선정하였다. 계획상 거실은 마루와 주

방으로 영역상 분리가 되었지만 일정한 시뮬레이션을 위하여 마루와 거실을 하나의 입면으로 평가하였다. 선택부분은 그림1에서와 같이 중심의 거실부분으로 한정하였으며 면적은 7.6m×4.8m (36.5m<sup>2</sup>), 반사율은 벽, 천장, 바닥을 각각 50%, 70%, 30%로 고려하였다.

##### 4.2 기상데이터

기상데이터는 DOE (U.S. Department of Energy) EnergyPlus 기상데이터를 이용하였다. Energy Plus 에너지 시뮬레이션을 위한 기상데이터 웹사이트<sup>13)</sup>에서는 세계 각국의 2,100개소에 이르는 도시의 기상 데이터 확인 및 다운로드가 가능하며 국내는 인천, 강릉, 광주, 울산 4 도시에 대한 기상데이터를 이용할 수 있다.

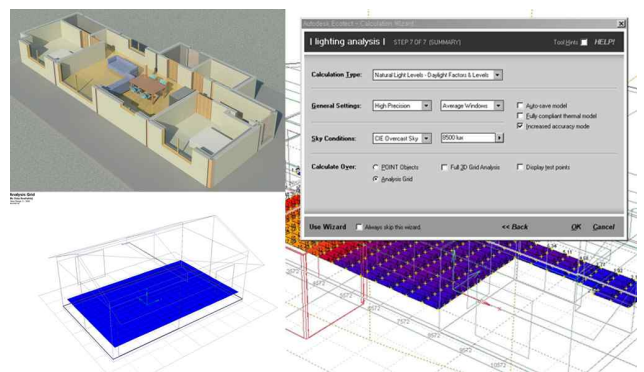


그림 2. REVIT 렌더링과 이를 이용한 ECOTECT 시뮬레이션

DOE에서 제공하는 기후 데이터에는 1년 기준의 월별, 일별 복합 기후도에 해당하는 관측 자료들이 포함되어 있다. 기후 데이터는 지역 기상 자료를 수집하기 위한 관측 지점과 기간 등에 따라 차이를 보이는 것이 사실이다. Ecotect Weather Tool의 자료는 실제 기상 자료와 3-5% 내외의 오차 범위를 갖고 있다고 보는 것이 바람직하며 시뮬레이션의 기본 분석 단계로서의 기초 작업의 의미와 건물 분석 실행 결과 값과의 상대적인 비교 값으로서 의미가 크다고 볼 수 있다. 이러한 값은 Ecotect Weather Manager를 통하여 데이터를 보완할 수 있다.

본 연구는 DOE에서 제공하는 광주 기상데이터를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

주광률은 Light Analysis를 통해 조명이 없는 상태인 Natural light levels 하에서 계산되었으며 이는 Ecotect의 특성상 특정한 시간과 일시가 아닌 연간 기상상태에 따른 주광률의 평균값을 기준으로 계산되었다.

설정 외부조도는 국제조명위원회(CIE)에서 규정한 표준 기후 데이터를 활용 하여 담천공(Overcast sky) 하의 8,500 lux로 설정하였으며 시뮬레이션 그리드는 작업면 위치인 75cm에 위치시킨 후 시뮬레이션을 수행하였다.

13) [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm)

Statistics for KOR\_Kwangju. 471560.IWEC  
 Location -- KWANGJU - KOR  
 (N 35? 7) (E 126?55) (GMT +9.0 Hours)  
 Elevation -- 72m above sea level  
 Standard Pressure at Elevation -- 100463Pa  
 Data Source -- IWEC Data

- Monthly Statistics for Solar Radiation (Direct Normal, Diffuse, Global Horizontal) Wh/m<sup>2</sup>

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Direct Avg	2176	2571	3145	4338	4544	3086	2705	2448	3351	3699	2646	2065
Direct Max Day	5003	5085	7325	8491	9676	9433	9689	7206	7681	6562	5050	4175
Diffuse Avg	1221	1602	1917	2041	2346	2501	2658	2722	1996	1519	1295	1161
Global Avg	2252	2985	3871	5133	5649	4846	4556	4494	4256	3638	2569	2078
- Maximum Direct Normal Solar of	9689 Wh/m <sup>2</sup> on Jul 19											

- Average Hourly Statistics for Direct Normal Solar Radiation Wh/m<sup>2</sup>

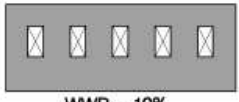

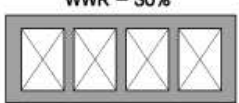
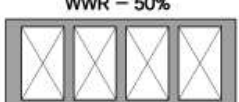
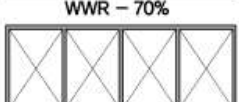
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:01- 2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:01- 3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:01- 4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:01- 5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

그림 3. 광주의 Weather Data

### 4.3 시뮬레이션 모델 및 그리드 설정

분석 대상인 농립-09-26-가를 시뮬레이션 하기 위하여 초기 모델은 Autodesk Revit 2011를 통하여 실시설계와 동일한 디테일로 모델화 시켰으며, 이를 ECOTECT에서 사용가능한 Green Building Studio gbXML로 변환하여 분석대상이 되는 거실부분만을 추출하여 진행하였다.

표 3. WWT, VT에 따른 시뮬레이션 모델

WWR		Simulation Model	VT (%)
실제비율	%		
 WWR - 10%	10		20
			40
			60
			80
 WWR - 30%	30		20
			40
			60
			80
 WWR - 50%	50		20
			40
			60
			80
 WWR - 70%	70		20
			40
			60
			80
 WWR - 90%	90		20
			40
			60
			80

결과의 정확성과 균일성을 위하여 거실을 마루와 부엌으로 나누어 입면을 분할하지 않고 거실로서 하나의 입면으로 통일 시켰으며 이에 따라 거실부분의 입면을 10~90%로 나눈 5개의 모델을 기준 모델로 설정하였다. 투과율(VT)은 4가지를 고려하여 20%, 40%, 60%, 80%의 4가지가 고려된 20개의 모델을 설정하여 창면적비 WWR(window-to-wall ratio)마다 4개의 투과율 조건을 적용 기준하여 그 기준은 표3과 같다.

다음으로 각각의 모델에서 시뮬레이션 그리드를 설정

하였다. 모든 시뮬레이션 포인트를 작업 면 위치인 75cm에 위치시킨 후 시뮬레이션을 수행하였다. 총 10×20개의 시뮬레이션 포인트에서 시뮬레이션 결과를 분석하였으며 시뮬레이션 후의 이미지 결과물인 각 그리드의 색과 지점의 수치는 실내조도의 높낮이를 표현하고 있으며, 각종 자연채광 시뮬레이션 결과 값을 얻을 수 있다.

따라서 위의 조건들을 바탕으로 다음의 주요 세 가지 결과물을 얻을 수 있다. 전체 포인트에서의 1) 평균 주광률, 2) Daylight Autonomy(DA): 연중 일과시간(08:00~18:00)에서의 3가지 기준조도 (100, 500, 2,000 lux)를 초과하는 총 시간의 합(%), 3) UDI (Useful Daylight Illuminance): 적정 실내조도인 100~2,000 lux 범위의 연중 일과 시간 내 총 실내조도 발현시간의 합(%)을 얻을 수 있다.

## 5. 시뮬레이션 결과분석

### 5.1 주광율과 DA의 관계

결과 분석은 전체적인 시뮬레이션 후 창면적비 50%와 투과율 60%인 경우를 사례로 살펴보았으며 평균 주광률과 세 가지 기준조도에서의 DA와 UDI의 결과는 표4와 같다. 시뮬레이션 모델의 창가에서부터 실내 안쪽까지 각 지점에서 결과를 얻어낸 것이다. 창에서 실 출입구까지 4.8m 거리에서 시뮬레이션 지점 1은 창에서 가장 가까운 점을 의미하며 10번째 지점은 가장 안쪽에 위치하게 되며 결과는 표5와 같다.

표 4. WWR 50%, VT 60%에서의 시뮬레이션 결과 (평균값)

	주광율 (DF)	DA (100)	DA (250)	DA (500)	DA (2000)	UDI
%	4.80	97.69	98.07	81.75	16.8	80.89

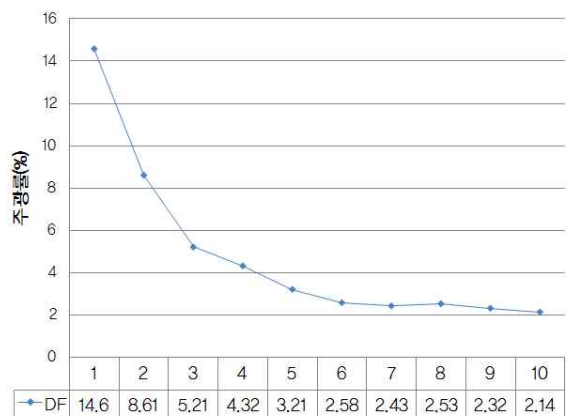


그림 4. WWR 50%, VT 60%에서의 DF결과

그림4는 각 지점에서 주광율을 나타내며, 실내 안쪽으로 갈수록 태양광 유입이 감소하고 있다. 창가에서 14.6%의 주광율을 보이고 가장 안쪽에서는 2.14%로 감소한 수치를 보이고 있다. 기존의 연구결과에 따르면 적정 주광률은 2%에서 5% 사이로 제시되고 있다. 따라서 주광률은 5%가 넘는 약 1.5m 지점까지는 시각적 열적 불쾌감의 가능성이 있다고 볼 수 있다.

### 5.2 DA와 UDI의 관계

그림 5는 DA와 UDI에 대한 것이며 앞 결과와 동일한 지점에서의 유사한 결과를 보여주고 있다. DA -100 lux의 경우에는 거의 모든 지점에서 평균 95%의 시간에서 최소 100 lux 이상이 유지됨을 볼 수 있고 이는 연간 모든 시간에서 기준조도 100 lux가 실 안쪽까지 유입된다는 것을 나타내는 것이다.

표 5. WWR 50%, VT 60% 에서의 남향중앙에서 각 지점의 값

%	시물레이션 지점									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DF	14.5	8.6	5.21	4.32	3.21	2.58	2.43	2.53	2.32	2.14
DA (100)	100	100	98.7	97.8	97.5	97.2	96.7	96.4	96.3	96.0
DA (250)	99.7	97.5	95.9	95.1	94.0	93.6	91.9	91.3	90.1	88.8
DA (500)	96.7	95.1	92.5	87.3	83.2	80.5	75.0	73.6	70.6	62.5
DA (2000)	86.6	58.1	23.6	0	0	0	0	0	0	0
UDI	13.3	41.8	75.0	97.9	97.5	97.2	96.7	96.4	96.3	96.0

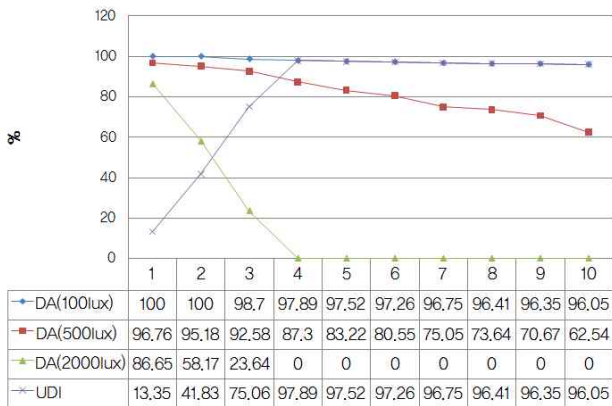


그림 5. 각 시물레이션 지점에 따른 DA와 UDI

DA-500 lux인 경우는 실내 깊은 쪽으로는 다소 감소하는 경향을 보이고 있지만 60% 이하로 떨어지지 않는 것을 볼 수 있다. 주광률 5% 이상인 지점(3지점)에서는 모두 92% 이상의 시간대에서 500 lux 이상을 보이고 있다.

DA-2,000 lux인 경우는 창에서 3번째 지점까지 약 20% 이상의 시간대에서 2,000 lux 이상을 보여주고 있지만 다른 기준조도와는 다른 양상을 보이고 있다. 하지만 이는 역시 주광률 5% 이상의 부분과 일치하는 상황을 나타낸다. 또한 창가 바로 앞쪽인 첫 번째 지점에서는 약 80% 이상의 시간대에서 2,000 lux 가 나타나 시각적 불편함 및 추가적 에너지 부하 증가의 원인으로 나타난다. 그러나 이후 지점부터는 0%의 시간대를 보이며 실 안쪽에서는 전혀 나타나지 않는 경향을 보인다.

UDI는 전혀 상반된 경향을 보이는 것을 볼 수 있다. 유용조도범위인 100~2,000 lux는 창가 쪽으로 갈수록 낮은 비율을 보이며 4번째 지점인 약 2m 지점에서부터는 유용조도가 90% 이상임을 알 수 있다. 즉 앞에서의 주광률 5% 이상이며 DA-2,000lux에서 상대적으로 높은 수치

를 보인 창 주변의 지점에서 낮은 UDI 수치를 볼 수 있다. 즉 창가에서 첫 번째와 두 번째 지점은 각각의 유용조도의 시간대가 13.35%에서 증가함을 나타내 특히 2,000 lux 이상이 시간대가 많음을 의미하며, 이는 창가 부분이 채실자에게 시각적 불편감과 에너지 증가로 이어질 수 있다는 것을 보여주고 있다. 반면에 UDI는 실 안쪽으로 갈수록 점차 증가하여 실 중간 깊이 이상으로는 상대적으로 높은 유용조도의 범위를 보이고 있다. 따라서 UDI는 실 안쪽으로 갈수록 점차 증가하여 실 중간 깊이 이상으로는 상대적으로 높은 유용조도의 범위를 보이고 있다. 따라서 UDI는 기존 주광율과 DA와는 달리 유용조도의 수치를 통하여 적정 자연채광 디자인 평가 및 분석이 가능하다.

### 5.3 WWR과 VT에 따른 UDI의 변화

다음으로 주요 변수인 창면적비와 투과율의 변화에 따른 UDI 시물레이션 결과의 비교를 위해 다음과 같은 두 가지 분석을 수행하였다. 첫째로, 창 크기에 따른 UDI의 변화를 살펴보았다. 투과율을 60%로 고정하고, 창면적비를 10%, 30%, 50%, 70%, 90%로 변화시키면서 UDI의 변화를 분석하였다.

우선 창면적비가 10%인 경우 다른 창면적비의 경우와는 다르게, 실내 깊이가 깊어질수록 UDI가 감소함을 알 수 있다. 즉 창가에서의 UDI는 가장 높은 수치를 보여주지만 안쪽에서의 유용조도 수치는 떨어진다. 그 외의 경우 창면적비가 증가할수록 창가에서부터 실내 쪽으로 UDI 수치는 점차 증가하며, 일정지점부터는 약 95% 이상의 수치를 유지하게 된다. 특히 창면적비가 70%, 90%인 경우는 각각 창가 쪽에서의 유용조도의 비율이 떨어진다. 이는 높은 창면적비에 따른 과도한 태양광 유입으로 2,000 lux 이상의 조도 비율이 높아지기 때문이다.

표 6. WWR(%)에 따른 UDI - VT 60%

WWR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
90	7.9	18.6	35.7	55.2	68.0	81.5	94.2	98.2	98.4	98.5
70	12.4	24.5	47.2	65.9	84.0	97.7	98.2	97.9	97.6	97.6
50	13.3	42.2	75.3	98.2	97.5	97.2	96.6	96.6	96.5	96.1
30	27.4	63.3	98.0	97.2	96.3	95.5	95.2	95.1	94.5	94.2
10	93.4	96.5	94.0	91.6	85.4	86.3	86.5	84.8	83.2	78.6

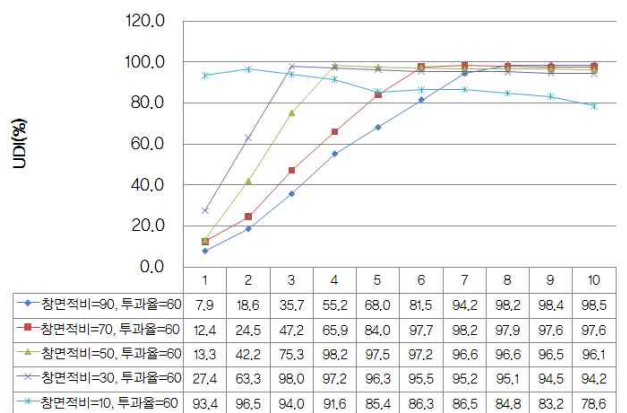


그림 6. WWR에 따른 UDI의 변화

반면에 창면적비가 30%, 50%의 경우 앞쪽의 일정부분부터는 유용조도가 고르게 분포되어 있음을 볼 수 있다. 결국 과도한 일사가 유입되는 경우인 창면적비 90%의 경우는 창가 쪽에서 7.9%에서 시작하여 점차 증가함을 보이고 있다. 이 경우에는 실 안쪽 7번째 지점 (약 3.4m 지점)에 이르러서야 UDI가 90%를 초과하게 된다. 반대로 창면적비 10%의 경우에는 창면적 90%와 반대의 경향을 보이고 있다. 높은 창면적비의 경우에서 창가 주위의 높은 조도로 인한 UDI의 감소와 마찬가지로 적은 창면적비와 투과율이 요구된다. 이러한 결과를 종합적으로 분석키 위해 각각의 평균값을 살펴보았다. 각각 UDI 평균은 65.6% (WWR=90%), 72.2% (70), 81% (50), 86% (30), 88.2% (10)로 나타난다.

즉 동일한 60%의 투과율에서 적정 창면적비인 30%, 10%에서 상대적으로 높은 유용조도 수치를 볼 수 있다. 특히 창면적비가 90%인 경우 평균 65.4%로 이는 유용조도 범위 외 특히 2,000 lux 이상의 조도발현이 약 60% 시간대에서 나타남을 의미한다. 따라서 UDI 수치를 바탕으로 다양한 모델에서의 적정 개구부 디자인을 평가할 수 있다.

표 7. VT(%)에 따른 UDI - WWR 50%

VT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
80	7.4	30.4	59.6	81.3	98.0	97.3	96.9	96.7	96.5	96.2
60	13.3	42.2	75.3	98.2	97.6	97.3	96.5	96.6	96.5	96.2
40	19.5	62.3	98.1	97.7	97.1	96.8	96.5	96.4	96.3	95.9
20	55.8	98.2	97.3	96.5	96.5	96.4	96.3	96.2	96.2	95.8

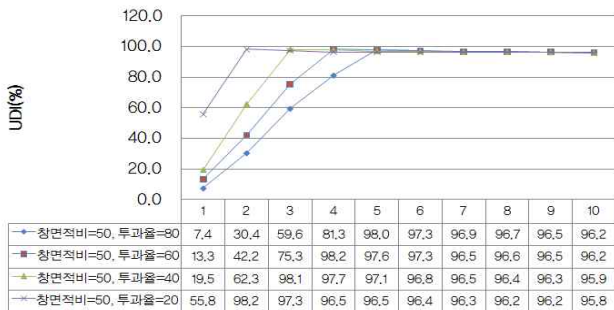


그림 7. VT에 따른 UDI의 변화

다음으로는 창면적비는 고정한 후 투과율을 변화시켜 UDI의 변화를 살펴보았다. 상대적으로 투과율 변화는 창면적비 변화에 유용조도의 변화가 적음을 알 수 있다. 각각의 UDI 평균은 76.1% (VT=80%), 81.0% (60%), 85.6% (40%), 92.5% (20%)이다. 투과율의 감소에 따라 UDI는 약간씩 증가함을 보여준다. 투과율이 80%인 경우 세 번째 지점까지 약 60%대의 유용조도를 나타내며, 그 외 투과율이 40%와 60%의 경우 창가에서의 UDI는 낮지만 각각 3번째(1.5m)와 4번째 지점(2.0m)에서부터 UDI는 95% 이상 유지한다. 즉 창면적이 50%시 투과율이 80%인 경우를 제외하고는 전체적으로 첫 번째 창측을 제외하고는 UDI 수치가 60%이상을 상회하고 있음을 알 수 있다. 결국 UDI를 통한 연간 유용조도 결과분석 투과율 변화보다는 창면적비에 따라 그 영향이 큰것을 알 수 있다. 특히

창면적비에 따른 분석결과, 과도하거나 작은 창면적비에서 유용조도를 초과하거나 미만에서의 실내조도 증가로 UDI가 크게 감소한다. 이러한 UDI 수치의 유용조도 범위 분석을 통해 적정 건물 개구부 평가가 가능하다.

### 5.4 주광률, DA, UDI의 관계

표 8은 총 20개 모델에서의 주광율, DA, UDI의 결과를 보여주고 있다. 전체적인 창면적비와 투과율의 관계를 통한 실내 자연채광 성능 분석을 위해 유효개구부 EA (Effective Aperture)를 사용하였으며, 이는 투과율과 창면적비의 곱(VT × WWR)으로 정의된다. EA를 이용한 적정 조도의 범위를 제시하고자 전체적인 20개의 시물레이션 모델의 EA(투과율×창면적비)를 계산하였다.

그림 8와 9의 X축은 EA(투과율×창면적비)를 나타내고 있으며, 각각의 시물레이션 결과가 Y축에 표시되었다. 우선 그림 8은 EA와 주광율과의 관계를 분석한 것이다. 전체적으로 최소 0.7%에서 최대 8.2%까지의 분포를 보이고 있으며, 각각의 변수인 EA가 증가함에 따라 유사한 비율로 주광율 또한 증가함을 볼 수 있다. 적정 주광율인 2%에서 5% 사이의 범위는 EA가 0.10~0.35에서 나타남을 볼 수 있다. 즉 EA를 통해 적정 주광율 판단이 가능하다.

표 8. 전체 시물레이션 결과

WWT(%)	VT (%)	DF	DA (100)	DA (500)	DA (2000)	UDI	EA
90.0	80.0	8.2	99.2	92.5	35.5	63.7	0.72
70.0	80.0	7.1	98.6	90.3	27.9	70.8	0.56
50.0	80.0	5.5	97.7	81.9	19.0	78.7	0.4
30.0	80.0	3.9	96.6	63.1	13.0	83.6	0.24
10.0	80.0	1.5	87.9	21.0	2.1	85.8	0.08
90.0	60.0	7.1	99.0	91.7	30.1	68.9	0.54
70.0	60.0	6.0	98.6	89.3	22.7	75.8	0.42
50.0	60.0	4.8	96.7	81.8	16.9	79.8	0.30
30.0	60.0	3.1	96.3	58.5	9.0	87.3	0.18
10.0	60.0	1.2	86.6	17.0	1.0	85.6	0.06
90.0	40.0	5.9	98.6	90.8	24.5	74.1	0.36
70.0	40.0	4.9	98.2	87.8	16.0	82.3	0.28
50.0	40.0	3.7	98.0	76.6	10.0	88.0	0.20
30.0	40.0	2.5	95.7	52.2	5.0	90.6	0.12
10.0	40.0	1.0	84.7	11.2	0.3	84.4	0.04
90.0	20.0	4.7	98.6	89.3	13.6	85.0	0.18
70.0	20.0	3.8	97.7	85.4	7.2	90.5	0.14
50.0	20.0	2.8	96.7	71.5	3.0	93.7	0.1
30.0	20.0	1.9	95.1	42.5	0.4	94.7	0.06
10.0	20.0	0.7	82.0	3.8	0.0	82.0	0.02

다음의 그림 8은 UDI와 EA와의 상관관계를 분석한 것이다. 주광율 및 DA의 경우는 투과율과 창면적비와 비례하여 수치가 모두 증가하는 경향을 보이지만, UDI의 경우는 그림과 같이 다른 경향을 보이고 있다. 초반에 창면적비 및 투과율의 증가에 따라 UDI는 소폭 증가하다 적정 부분의 비율에서 최대 95%까지의 수치를 보인다. 그러나 계속된 투과율 및 창면적비의 증가에 따라 UDI의 수치는 점차 감소함을 볼 수 있다. 이를 적정 주광율 범위인 2~5%를 보이는 0.10~0.35의 EA 범위와 비교해 보면, 이 범위에서 UDI는 80% 이상의 수치를 보이고 있다.

따라서 UDI를 통해 재실자의 실내 환경 질과 건물 에너지를 고려한 적정 건물 개구부를 80% 이상의 UDI를 적정 수치로 제시할 수 있다.

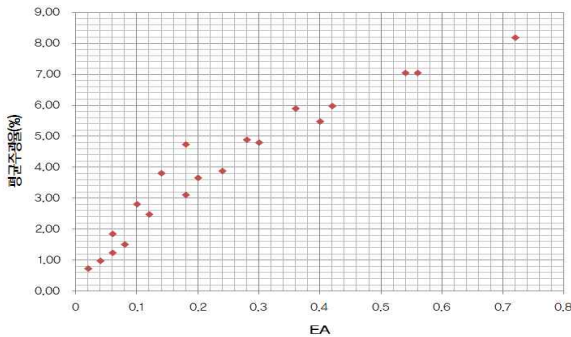


그림 8. DF와 EA의 상관관계

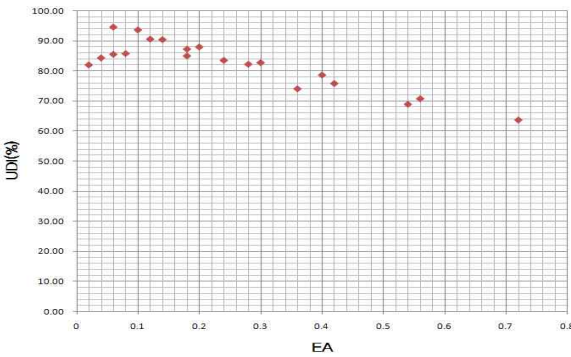


그림 9. UDI와 EA의 상관관계

## 6. 결론

자연채광의 장점인 에너지 절감과 실내 환경 질 개선은 친환경 건축물에서 가장 중요한 요소이지만 이를 평가하는 각종 시뮬레이션 프로그램들은 초기 설계 과정에서 이를 반영하기 어려운 점이 있다. 본 연구에서는 초기 설계 과정 시뮬레이션에 적용 가능한 ECOTECT 2011을 이용하여 농어촌주택 표준설계도서의 거실에 유용한 자연채광 조도 분포를 시뮬레이션으로 측정하였다.

이를 위해 자연채광 평가 기준인 정적 시뮬레이션인 주광률(DF)을 기본으로 측정하고 주광률의 문제점을 보완하기 위해 연중 전체적인 조도분포를 측정할 수 있는 동적 시뮬레이션인 Daylight Autonomy(DA)와 Useful Daylight Illuminance(UDI)를 중심으로 연구를 수행하였다. 시뮬레이션 대상은 농어촌주택 표준설계도서(제 2009-994호)의 기본 모델인 자두방형 [농립-09-26-가]를 선택하였으며 기상 데이터는 US DOE의 Energy Plus용 기상데이터를 이용하였다. 건물 개구부의 디자인 및 특성에 따른 실내 조도 분포 분석을 위해 창면적비와 투과율을 변화시킨 총 20개의 시뮬레이션 모델을 설정하여 측정하였다. 이를 통해 평균 주광율을 포함한 DA의 세 가지 기준조도인 100-500-2,000 lux의 연중 분포를 통해 UDI를 중심으로 분석하였다. 분석결과는 다음과 같다.

첫 번째, 우선 개별 시뮬레이션 모델 분석 결과, DF와

DA는 창가에서 실내로 갈수록 태양광 유입의 감소로 수치 또한 감소하는 경향을 보이는 반면 UDI의 총시간(%)은 상반된 경향을 보였다. 유용한 조도의 범위인 100~2,000 lux는 창가 쪽으로 갈수록 낮은 비율을 보이며, 실 중간 지점에서부터 점차 UDI 수치 증가를 보인다. 또한 UDI 평균값을 통해 동일한 60%의 투과율에서 적정 창면적비인 30%에서 상대적으로 높은 UDI 수치를 보이며 상대적으로 90%의 과도한 창면적비의 경우 평균 약 68%의 UDI 수치를 볼 수 있다. 따라서 UDI 수치를 바탕으로 다양한 모델에서의 적정 개구부 디자인 평가가 가능하다.

두 번째, 전체 시뮬레이션 결과의 분석을 위해 EA(투과율 × 창면적비)를 통해 분석하였다. 우선 DF와 EA에서는 적정 주광율인 2%에서 5% 사이의 범위는 EA가 0.10~0.35에서 나타남을 볼 수 있다. UDI와 EA와의 상관관계를 보면 역시 주광율 및 DA와는 다른 경향을 보인다. UDI의 경우는 초반에 창면적비 및 투과율의 증가에 따라 증가하다가 일정부분 적정 UDI 수치를 유지한다. 그러나 계속된 투과율 및 WWR의 증가에 따라 UDI의 수치는 점차 감소함을 볼 수 있다.

표 9. 권장 DF와 EA의 관계, UDI의 관계

WWT(%)	VT (%)	DF	DA (100)	DA (500)	DA (2000)	UDI	EA
30.0	80.0	3.9	96.6	63.1	13.0	83.6	0.24
50.0	60.0	4.8	96.7	81.8	16.9	79.8	0.30
30.0	60.0	3.1	96.3	58.5	9.0	87.3	0.18
70.0	40.0	4.9	98.2	87.8	16.0	82.3	0.28
30.0	40.0	2.5	95.7	52.2	5.0	90.6	0.12
90.0	20.0	4.7	98.6	89.3	13.6	85.0	0.18
70.0	20.0	3.8	97.7	85.4	7.2	90.5	0.14

세 번째, 권장 DF 범위인 2~5%를 보이는 EA 범위 0.10~0.35인 범위와 비교해보면, 적정 자연채광을 위한 개구부 디자인은 UDI가 80% 이상인 경우로 나타났으며 이는 곧 적정한 DF에 따른 UDI는 지역에 따른 창면적비만이 아닌 투과율과 함께 조정되어야 100~2,000 lux의 유용조도가 높게 평가되는 공간을 만들어 낼 수 있다.

네 번째, 반대로 적정 UDI 수치 80% 미만의 경우는 상대적으로 높은 투과율과 창면적비로 인한 창가에서의 과도한 일사량의 유입으로 적정 조도범위인 2,000 lux를 초과하게 되기 때문이며 낮은 EA의 경우, 특히 100 lux 미만의 조도 비율이 높아지게 되기 때문에 요약 될 수 없다.

이러한 기상데이터를 활용한 동적 시뮬레이션을 통해 UDI의 범위가 80%를 초과하는 경우 적정 주광률의 범위와 일치하며 창면적비와 투과율의 평가를 통해 올바른 자연채광 디자인에 접근할 수 있다.

본 연구는 농어촌주택 설계도서의 취지인 시간적, 경제적 부담을 덜어주기 위한 기본목표 외에 고려되지 않은 친환경 건축물에 대한 이해에서 시작되었으며 그 해결책으로는 친환경 설계기법 중 가장 접근하기 쉬운 자연채광을 이용한 패시브 디자인에 대한 방법을 모색하였다.



시간적, 경제적 부담을 덜어주는 농어촌주택 설계도서의 틀을 유지하면서 각 지역의 위치와 연간기후를 고려한 동적 시뮬레이션을 통해 올바른 자연채광 디자인에 접근할 수 있다면 경제적 효과는 물론 재실자를 위한 실내 환경 질 개선과 고효율 에너지 절약형 건물을 위해 활용 될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. 고동환, 기상데이터 기반 동적 자연채광 시뮬레이션을 이용한 유용조건 분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 26권 6호, 2010
2. 천진희, '노인의 삶의 질 향상을 위한 주거환경 디자인', 집문당, 2008,
3. 박성득, '공동주택의 주동형식 및 창면적비에 따른 건물에너지 효율등급에 관한 연구', 고려대석사학위, 2010
4. 원슬기, '고령자를 위한 주거 시설 조명환경 계획에 관한 연구', 조명·전기설비학회논문지, Vol.21 No.6, 2007
5. 권순경, 노인요양시설의 거실면적기준에 관한연구, 대한건축학회논문집, 제16권 6호, 2000
6. Gappel, Millicent, "Psychoneuro Immunology", Innovation in Healthcare Design, Van Nostrand Reinhold, 1995,
7. Navil A. and Mardajevic, J. "Useful daylight Illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings" , Light Res. Technol. 37,1 ,2005
8. Association Suisse des Électriciens (ASE) / Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (SEV) <http://www.sev.ch/f>
9. Reinhart, C. F., Walkenhorst, O., "Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulation for a test office with external blind", Energy and Buildings, Volume 33, Issue 7, September 2001
10. Navil A. and Mardajevic, J. "Useful daylight Illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings", Light Res. Technol. 37,1 ,2005
11. Navil A. and Mardajevic, J. "Useful daylight Illuminance: A replacement for daylight factors", Energy and Buildings 38 ,2006
12. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/>

투고(접수)일자: 2010년 12월 31일

심사일자: 2011년 1월 7일

게재확정일자: 2011년 2월 23일